

PEMODELAN HIDRODINAMIKA DAN PENENTUAN TIPE MUARA DI MUARA SUNGAI MALALAYANG KOTA MANADO

ARTHUR HARRIS THAMBAS¹, LIANY AMELIA HENDRATA², TINY MANANOMA³
DEDDY RAYMOND GODFRIED RATULANGI⁴, RONALD ALBERT RACHMADI⁵, YOSUA
ADITYA RATU⁶

Doktor Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi^{1,2,3,4,5,6}

Email: arthur.thambas@unsrat.ac.id¹, lianyhendratta@unsrat.ac.id², tiny.mananoma@unsrat.ac.id³,
deddyratulangi119@student.unsrat.ac.id⁴, ronaldrachmadi119@student.unsrat.ac.id⁵,
yosua.aditya.ratu@gmail.com⁶

DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v9i2.7516>

Abstrak: Muara Sungai Malalayang di Kota Manado merupakan sistem muara tropis yang dinamis dan dipengaruhi oleh interaksi antara debit sungai, pasang surut, dan kondisi morfologi perairan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik hidrodinamika serta menentukan tipe muara Sungai Malalayang berdasarkan dominasi energi pembentuknya. Pemodelan hidrodinamika dilakukan menggunakan perangkat lunak MIKE 21 Flow Model FM berbasis metode elemen hingga dua dimensi dengan input data batimetri, pasang surut, debit sungai, dan angin tahun 2024. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa pola arus di perairan muara relatif mengarah ke utara, dengan variasi kecepatan arus yang dipengaruhi oleh fluktuasi pasang surut dan debit sungai. Fenomena backwater teridentifikasi di area muara, namun secara umum proses hidrodinamika didominasi oleh aliran sungai. Kondisi ini didukung oleh keberadaan sedimentasi di depan muara yang teramati dari hasil analisis dan citra satelit. Berdasarkan karakteristik tersebut, Muara Sungai Malalayang diklasifikasikan sebagai muara yang didominasi oleh aliran sungai. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengelolaan wilayah pesisir dan perencanaan lingkungan di kawasan Malalayang.

Keywords: Hidrodinamika, MIKE 21, Manado, Pemodelan Numerik, Tipe Muara.

A. Pendahuluan

Muara sungai merupakan wilayah transisi yang dinamis antara sistem perairan darat (fluvial) dan laut (marine), di mana proses fisika, kimia, dan biologi saling berinteraksi secara kompleks dan terus-menerus. Hidrodinamika muara dipengaruhi oleh kombinasi energi pasang surut, debit sungai, gelombang laut, serta karakteristik morfologi dasar perairan (Mohd Salleh et al., 2023; Sandbach et al., 2018). Proses-proses ini menyebabkan muara sungai memiliki morfologi yang berubah-ubah, dengan pola migrasi saluran, erosi, dan akumulasi sedimen yang sangat dipengaruhi oleh interaksi antara debit sungai dan energi pasang surut (Kamjunke et al., 2023; Zhang et al., 2020). Pemahaman terhadap proses hidrodinamika tersebut sangat penting karena memengaruhi pola arus, sedimentasi, salinitas, serta kondisi ekologis dan sosial-ekonomi masyarakat pesisir (An et al., 2025; Dias et al., 2021).

Penelitian ini berlokasi di wilayah pesisir Muara Sungai Malalayang, yang terletak di Kecamatan Malalayang, Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara. Muara tersebut merupakan salah satu muara aktif yang memiliki hubungan langsung dengan Laut Sulawesi dan secara geografis berada di sekitar koordinat 1°27'40"N dan 124°49'13"E (Manalip et al., 2024). Dinamika salinitas di perairan depan muara Sungai Malalayang dipengaruhi oleh arus pasang surut, tinggi pasang surut dan debit sungai. Hasil pengukuran salinitas pada perairan depan muara Sungai Malalayang memperlihatkan bahwa sebaran salinitas mengikuti pergerakan arus yang terjadi karena adanya pengaruh pasang surut. Ketika permukaan laut sedang surut, maka air tawar yang masuk ke laut didorong ke arah kanan dari muara sungai, sedangkan jika permukaan air laut sedang pasang maka air tawar yang masuk ke laut akan didorong ke sebelah kiri dari sungai. Pada saat surut penampang sungai menyempit dan mengakibatkan air sungai yang bersalinitas rendah mengalir ke arah laut dengan kecepatan yang lebih

tinggi sehingga dapat mencapai jarak yang lebih jauh ke tengah laut. Selanjutnya, pada saat debit air sungai tinggi, massa air yang bersalinitas rendah menyebar sampai jauh ke laut.

Perkembangan teknologi pemodelan numerik dalam dua dekade terakhir memungkinkan analisis hidrodinamika dilakukan dengan akurasi yang semakin tinggi. Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan adalah MIKE 21, yang dikembangkan oleh Danish Hydraulic Institute (DHI). Model ini mampu mensimulasikan arus, tinggi muka air, dan sirkulasi perairan dua dimensi (2D) dalam skala spasial dan temporal yang detail. Beberapa penelitian di Indonesia telah memanfaatkan MIKE 21 untuk mempelajari dinamika arus dan pasang surut di kawasan muara dan pesisir, seperti di Muara Sungai Citarum (Putra et al., 2018), Muara Sungai Kapuas (Pranowo et al., 2020), dan Teluk Kendari (Abbas et al., 2021). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pendekatan pemodelan numerik efektif dalam memahami mekanisme sirkulasi air, distribusi kecepatan arus, serta interaksi antara debit sungai dan pasang surut laut.

Dalam konteks penentuan tipe muara, berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengklasifikasikan muara berdasarkan dominasi energi yang membentuknya. Sugianto dan Husrin (2016) mengelompokkan tipe muara di pantai selatan Jawa menjadi tipe dominasi gelombang (wave-dominated), dominasi pasang surut (tide-dominated), dan tipe campuran (mixed type). Sementara itu, Nurdin et al. (2020) meneliti tipologi muara tropis dan mengaitkannya dengan dinamika hidrodinamika serta pola sedimentasi. Hasilnya menunjukkan bahwa variabilitas debit sungai dan amplitudo pasang surut sangat memengaruhi morfologi muara dan pola sirkulasi air. Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus di wilayah barat dan selatan Indonesia, sementara wilayah timur — termasuk Sulawesi Utara — masih relatif kurang mendapat perhatian ilmiah.

Muara Sungai Malalayang di Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara, merupakan salah satu contoh sistem muara kecil di kawasan tropis yang menarik untuk dikaji. Muara ini bermuara langsung ke Teluk Manado, sebuah perairan semi-tertutup yang dikelilingi topografi curam dan memiliki karakteristik pasang surut campuran (mixed semi-diurnal tide). Daerah tangkapan airnya, yaitu DAS Malalayang, memiliki luas sekitar 17,5 km², yang meliputi bagian perbukitan di Kecamatan Wanea dan Teling Atas hingga bermuara di pesisir Malalayang. Bentuk morfologi yang curam menyebabkan aliran permukaan tinggi terutama pada musim hujan, sehingga debit sungai bersifat fluktuatif sepanjang tahun.

Selain itu, kawasan pesisir Malalayang juga mengalami tekanan pembangunan pesisir yang signifikan seperti peningkatan kawasan wisata, perubahan tata guna lahan, serta pembangunan infrastruktur jalan dan pemukiman. Aktivitas-aktivitas tersebut berdampak pada peningkatan erosi lahan dan sedimentasi di daerah muara, serta dapat memengaruhi keseimbangan hidrodinamika dan kualitas perairan (Sondakh et al., 2017; Rompas et al., 2019). Meskipun demikian, hingga saat ini belum terdapat penelitian komprehensif yang menganalisis hidrodinamika di Muara Sungai Malalayang menggunakan model numerik MIKE 21 dan sekaligus menentukan tipologi muaranya berdasarkan interaksi antara energi sungai dan laut.

Penelitian-penelitian terdahulu di wilayah pesisir Manado umumnya masih bersifat umum, seperti kajian kualitas air (Sondakh et al., 2017) dan pola arus permukaan berdasarkan citra satelit (Rompas et al., 2019). Oleh karena itu, penelitian ini menjadi langkah awal yang penting untuk memberikan pemahaman kuantitatif terhadap dinamika fisik di muara tersebut. Melalui pemodelan hidrodinamika menggunakan MIKE 21, diharapkan dapat diperoleh gambaran yang akurat mengenai pola arus, distribusi kecepatan, arah sirkulasi, serta karakteristik pasang surut di muara. Selanjutnya, hasil tersebut akan digunakan untuk menentukan tipe muara Sungai Malalayang, apakah termasuk tipe dominasi pasang surut, gelombang, atau tipe campuran.

Secara khusus, penelitian ini juga diharapkan dapat mengisi sejumlah kesenjangan penelitian (research gap), yaitu: minimnya kajian hidrodinamika berbasis model numerik di wilayah pesisir timur Indonesia, khususnya di teluk Manado, belum adanya integrasi antara pemodelan hidrodinamika dengan analisis klasifikasi tipe muara pada kawasan tropis berskala kecil, keterbatasan data lapangan

dan validasi model terhadap arus dan elevasi muka air di Muara Sungai Malalayang, Kurangnya kajian mengenai dampak perubahan tata guna lahan di DAS Malalayang terhadap dinamika muara dan keseimbangan energi fluvial–laut.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan pengetahuan mengenai sistem muara tropis di Indonesia Timur, sekaligus menjadi dasar bagi pengelolaan lingkungan pesisir yang lebih berkelanjutan di wilayah Kota Manado.

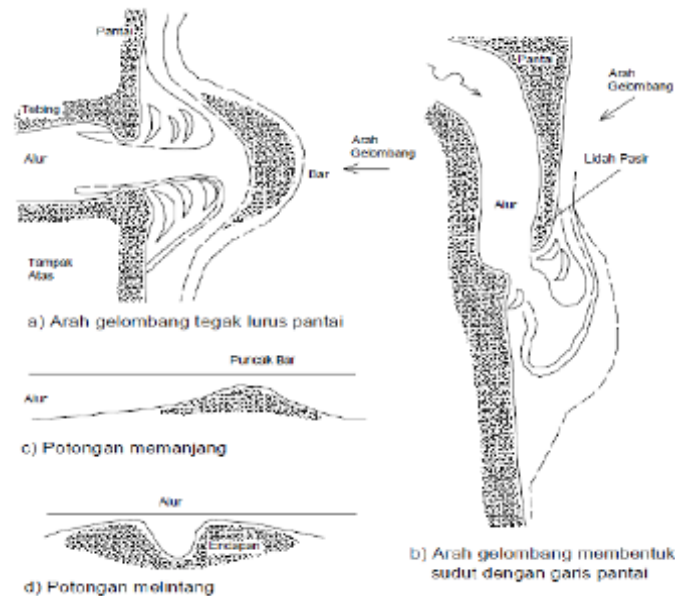
B. Metodologi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di wilayah pesisir Muara Sungai Malalayang, yang terletak di Kecamatan Malalayang, Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara. Muara tersebut merupakan salah satu muara aktif yang memiliki hubungan langsung dengan Laut Sulawesi dan secara geografis berada di sekitar koordinat $1^{\circ}27'40''\text{N}$ dan $124^{\circ}49'13''\text{E}$. Lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 1. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang didapat dari instansi – instansi terkait seperti: Data Angin dan Pasang Surut didapat dari BMKG Maritim Bitung, data debit sungai malalayang didapat dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi 1, dan data Batimetri diunduh dari website Tanah Airku.



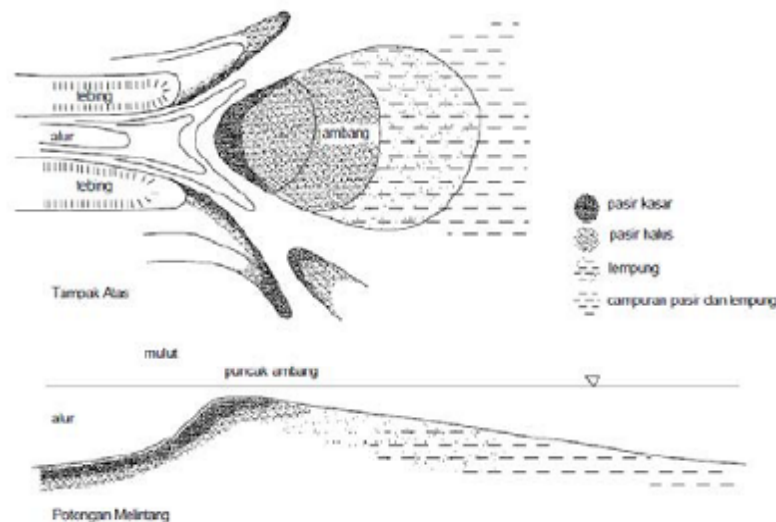
Gambar 1. Lokasi Penelitian

Tipe muara ini ditandai dengan angkutan sedimen menyusur pantai setiap tahun cukup besar dan arus menyusur pantai cukup dominan dalam pembentukan muara sungai. Pada tipe ini biasanya muara tertutup oleh lidah pasir dengan pola sedimentasi, seperti terlihat pada Gambar 2. Pola sedimentasi yang terjadi di muara tersebut sangat tergantung pada arah gelombang. Jika arah gelombang dominan menyudut terhadap pantai, akan terjadi penutupan muara dengan arah penutupan sesuai dengan arah gerakan pasir menyusur pantai. Pada kondisi muara dengan arah gelombang dominan yang relatif tegak lurus dengan pantai, pola sedimentasi akan terlihat, seperti pada Gambar 2a. Permasalahan utama pada muara sungai ini ialah saat awal musim hujan, yaitu ketika endapan pasir di muara cukup tinggi dan biasanya muara cukup sempit. Muara tidak mampu menyalurkan air banjir diawal musim hujan. Jika sungai tersebut juga digunakan untuk keperluan nelayan, nelayan tidak dapat atau sulit memasuki muara sungai pada kondisi seperti itu. Jika arah gelombang dominan menyudut, muara sungai akan sering berpindah tempat sehingga dapat menyulitkan pengendalian banjir ataupun pengelolaan daerah sekitar muara.



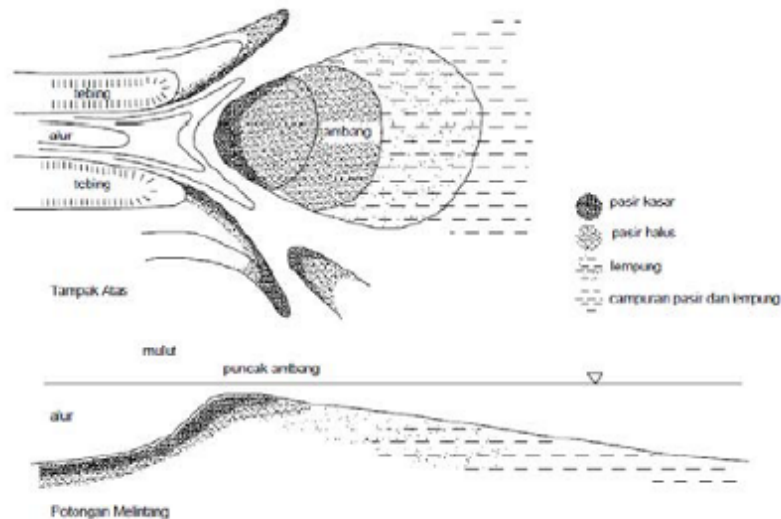
Gambar 2. Tipe muara yang didominasi gelombang laut (Davis, R.A. Jr. 1985)

Tipe muara ini ditandai dengan debit sungai menyusur setiap tahunan cukup besar sehingga debit tersebut merupakan parameter utama pembentukan muara sungai. Pola sedimentasi pada muara tipe ini dapat dilihat pada R eference source not found.. Pendangkalan yang serius biasanya tidak terjadi pada tipe muara ini. Hal ini disebabkan aliran air sungai yang terjadi cukup besar sehingga mampu memelihara atau merawat kedalaman alur sungai. Jika aliran sungai cukup banyak membawa material sedimen, garis Pantai akan cepat maju dan membentuk tanjung. Pendangkalan biasanya terjadi tidak pada alur sungai, tetapi terjadi pada pantai di depan muara tersebut. Di depan muara mungkin terjadi beberapa alur sungai yang akan berubah pada setiap musim sesuai dengan arus laut dan angkutan pasir pada waktu itu. Hal ini sangat penting diperhatikan, terutama untuk keperluan navigasi.



Gambar 3. Tipe muara yang didominasi aliran sungai (Davis, R.A. Jr. 1985)

Tipe muara ini ditandai dengan fluktuasi pasang surut yang cukup besar sehingga aru yang terjadi akibat pasang surut ini cukup potensial untuk membentuk muara sungai. Pada tipe ini terjadi angkutan sedimen dua arah (arah laut dan arah darat). Muara biasanya berbentuk corong atau lonceng (bell shape) dengan beberapa alur dan pendangkalan seperti terlihat pada Gambar 4. Permasalahan utama pada tipe muara ini bukan penutupan muarannya, tetapi pendangkalan yang terjadi di muara sungai dapat mengganggu pelayaran atau navigasi.



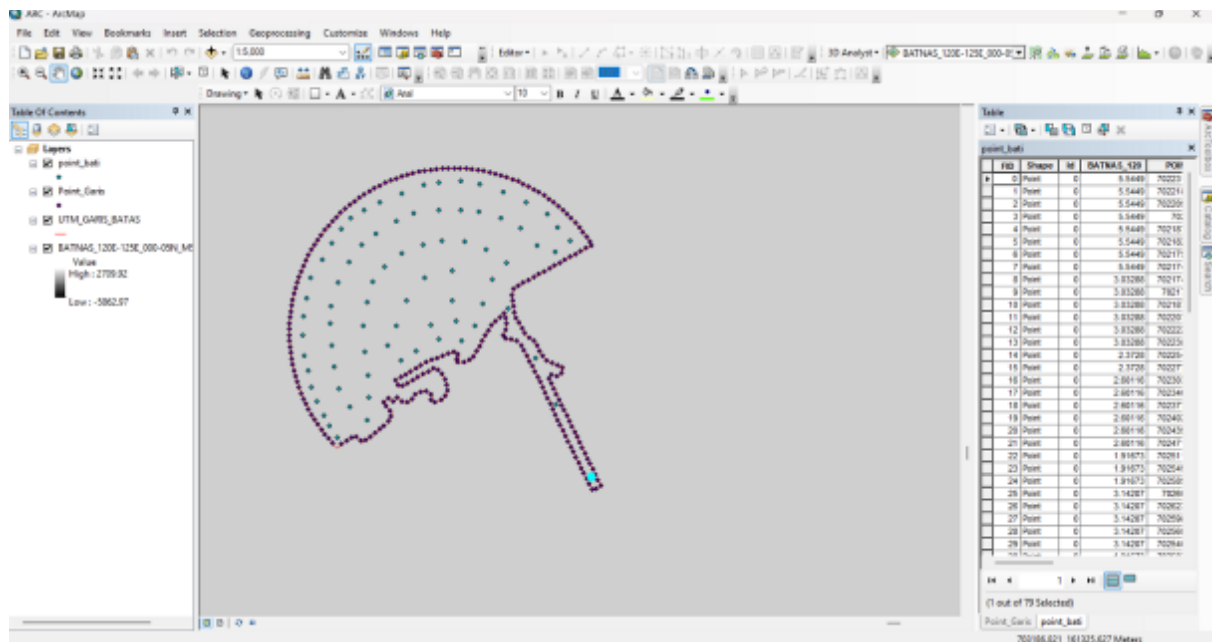
Gambar 4. Tipe muara yang didominasi pasang surut (Davis, R.A. Jr. 1985)

Dengan menyederhanakan skenario dunia nyata menjadi model yang dapat dianalisis, pemodelan matematika bertujuan untuk meningkatkan pemahaman system (Singh, 2024). Pemodelan muara sungai menggunakan model numerik untuk simulasi aliran air dan transportasi sedimen. Model ini membantu memahami bagaimana variabel sungai dan laut, seperti pasang surut dan aliran sungai, mempengaruhi dinamika muara (Sandbach et al., 2018).

Dalam pemodelan matematika, metode numerik adalah alat penting yang memungkinkan penyelesaian masalah yang tidak dapat diselesaikan secara analitik. Teknik ini mencakup berbagai pendekatan, termasuk analisis numerik (Khoury & Harder, 2016). Untuk memahami dinamika hidrodinamika di muara sungai, pemodelan numerik adalah alat penting. Simulasi aliran air yang kompleks, yang dipengaruhi oleh interaksi antara komponen sungai dan laut, dapat dilakukan dengan teknik ini. Untuk mensimulasikan aliran permukaan bebas di muara, model elemen hingga dua dimensi (2D) sering digunakan. Model ini mempertimbangkan batas aliran alami dan menggunakan elemen segitiga enam node, serta skema Euler implisit untuk diskretisasi ruang dan waktu (Heniche et al., 2000).

C. Pembahasan dan Analisa

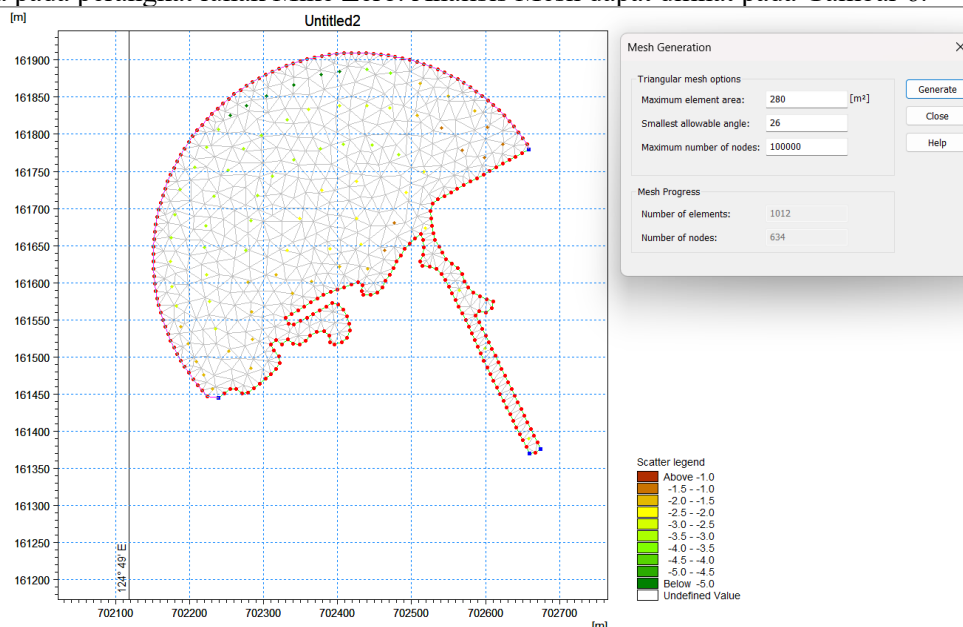
Data sekunder digunakan dalam penelitian ini. Terlebih dahulu, data batimetri yang diunduh dari halaman website Sistem Informasi Batimetri Nasional harus diolah menggunakan perangkat lunak ArcMap 10.8 menjadi data darat dan laut dalam format.xyz setelah data garis pantai yang dibuat pada perangkat lunak Google Earth Pro diolah menggunakan perangkat lunak ArcMap 10.8."xyz" Pemodelan dilakukan pada perangkat lunak Mike Zero Tipe Mike 21 Flow Model FM dengan menggunakan Mesh Generator yang sudah ada. Untuk proses ArcMap dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Analisis Dengan ArcMap

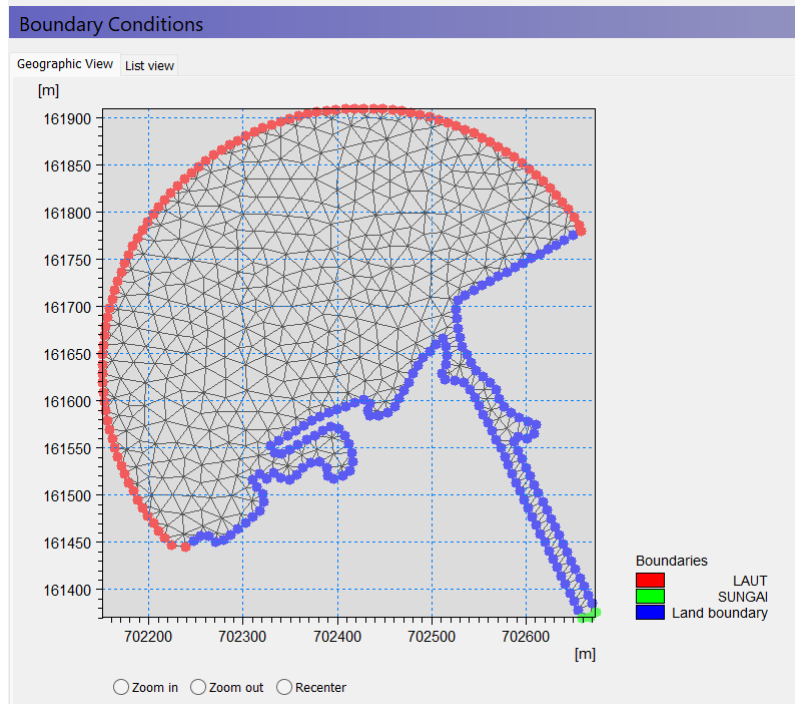
Di muara sungai Malalayang, dinamika arus dimodelkan menggunakan modul hidrodinamika tipe MIKE 21 Flow Model FM, yang merupakan model hidrodinamika dua dimensi berbasis metode elemen hingga (DHI, 2013). MIKE 21 adalah sistem pemodelan yang lengkap yang digunakan untuk simulasi hidrodinamika dan fenomena di muara, perairan pesisir, dan laut (Warren dan Bach, 1992). Model hidrodinamika ini digunakan untuk memodelkan arus yang terjadi dan ditunjukkan oleh vektor hasil pemodelan.

Data batimetri yang diunduh dari halaman website Sistem Informasi Batimetri Nasional terlebih dahulu harus diolah terlebih dahulu menggunakan perangkat lunak ArcMap 10.8 menjadi data darat dan laut dengan format .xyz. Selanjutnya dilakukan pemodelan dengan menggunakan Mesh Generator yang ada pada perangkat lunak Mike Zero. Analisis Mesh dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Mesh Mike Zero

Parameter yang dimasukkan pada modul hidrodinamika yang ada di Mike Zero Flow Model FM akan menghasilkan output berupa kecepatan dan arah arus yang terjadi di muara sungai Malalayang. Parameter yang digunakan merupakan parameter selama tahun 2024. Parameter pemodelan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. Dalam pemodelan juga menggunakan tiga kondisi batas yaitu daerah laut, daerah sungai dan daerah daratan yang dapat dilihat pada Gambar 7 serta data angin yang dimasukkan dalam parameter yang ada. Dari data yang didapat untuk pasang tertinggi didapat pada bulan Oktober 2024, data pada bulan ini digunakan untuk memodelkan hidrodinamika yang terjadi di muara sungai Malalayang.

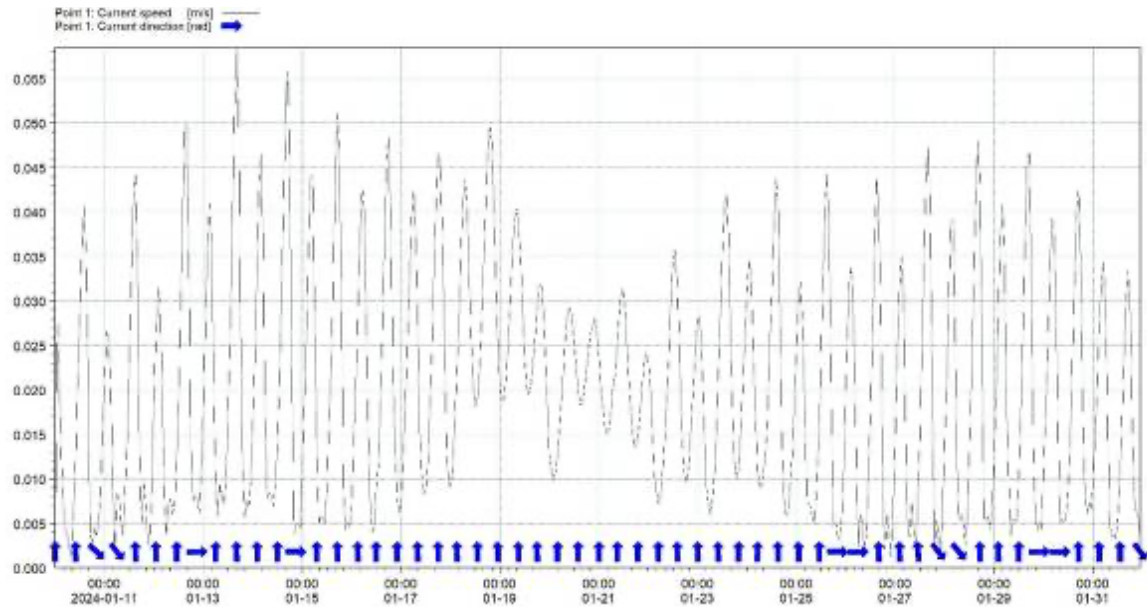


Gambar 7. Boundary Condition MIKE 21

Tabel 1. Parameter Pemodelan Arus di Muara Sungai Malalayang Tahun 2024

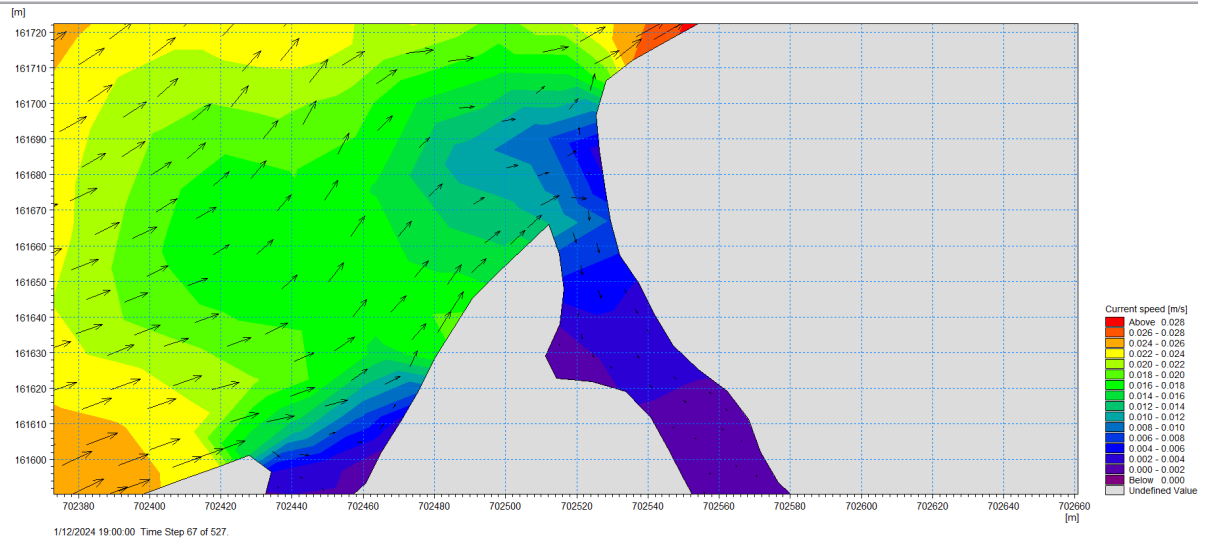
No.	Keterangan	Nilai
1.	No. Of Time Step	8759
2.	Time Step Interval	3600
3.	Simulation Start Date	1/01/2024
4.	Simulation End Date	12/31/2024
4.	Input Simulasi	Hasil Mesh, data angin tahun 2024, data pasang surut tahun 2024, data debit tahun 2024.

Dari hasil pemodelan selama tahun 2024 menggunakan perangkat lunak Mike Zero tipe Mike 21 modul hidrodinamika didapat arah arus di perairan Malalayang relatif mengarah ke utara yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Time Series dan Arah Arus

Dari hasil analisis juga terlihat bahwa adanya backwater yang terjadi pada daerah muara yang dapat dilihat pada Gambar 9, tetapi berdasarkan hasil analisis memperlihatkan bahwa muara ini didominasi aliran sungai yang terbukti adanya sedimen di depan muara yang dapat dilihat dari citra satelit Gambar 10.



Gambar 10. Hasil Analisis Adanya Bacwater



Gambar 10. Kondisi Sedimentasi Eksisting

D. Penutup

Berdasarkan data yang didapat Pasang surut didaerah muara sungai Malalayang merupakan tipe pasang surut harian ganda. Hasil pemodelan menggunakan perangkat lunak Mike Zero tipe Mike 21 modul hidrodinamika di muara sungai Malalayang menunjukkan bahwa interaksi antara debit sungai dan pasang surut memengaruhi pola arus. Di tahun 2024 arus utama mengarah ke utara. Dan muara ini merupakan muara yang dipengaruhi oleh debit sungai dan terlihat jelas adanya sedimentasi didepan muara sungai.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada semua pihak yang sudah memberikan data diantaranya data debit aliran Sungai Malalayang dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi 1 dan data batimetri yang diperoleh dari *website* Tanah Airku.

Daftar Pustaka

- An, N. N., Hong, P. V., Binh, N. A., Thao, G. T. P., Van Tinh, L., Hanh, N. C., & Tran, T. T. (2025). Spatiotemporal dynamics of suspended sediment in coastal Mekong Delta: a hydrodynamic modelling approach under tropical monsoon climate. *Scientific Reports*, *15*(1), 5851. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-89111-z>
- DHI. (2013). *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Hydrodynamic Module*. 14.
- Dias, J. M., Pereira, F., Picado, A., Lopes, C. L., Pinheiro, J. P., Lopes, S. M., & Pinho, P. G. (2021). A Comprehensive Estuarine Hydrodynamics-Salinity Study: Impact of Morphologic Changes on Ria de Aveiro (Atlantic Coast of Portugal). *Journal of Marine Science and Engineering*, *9*(2), 234. <https://doi.org/10.3390/jmse9020234>
- Heniche, M., Secretan, Y., Boudreau, P., & Leclerc, M. (2000). A two-dimensional finite element drying-wetting shallow water model for rivers and estuaries. *Advances in Water Resources*, *23*(4), 359–372. [https://doi.org/10.1016/S0309-1708\(99\)00031-7](https://doi.org/10.1016/S0309-1708(99)00031-7)
- Kamjunke, N., Brix, H., Flöser, G., Bussmann, I., Schütze, C., Achterberg, E. P., Ködel, U., Fischer, P., Rewrie, L., Sanders, T., Borchardt, D., & Weitere, M. (2023). Large-scale nutrient and

- carbon dynamics along the river-estuary-ocean continuum. *Science of The Total Environment*, 890, 164421. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164421>
- Khoury, R., & Harder, D. W. (2016). *Numerical Methods and Modelling for Engineering*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-21176-3>
- Manalip, E. H., Jasin, M. I., & Dundu, A. K. T. (2024). Analisis Sedimentasi Di Muara Sungai Malalayang Kota Manado. *Jurnal Teknik Sipil Iniversitas Sam Ratulangi*, 22(90).
- Mohd Salleh, S. H., Wan Mohtar, W. H. M., Abdul Maulud, K. N., & Al-Ani, I. (2023). Hydrodynamic Modelling: Estuary Dynamic Implication to Morphological Changes. *Jurnal Kejuruteraan*, 35(3), 635–645. [https://doi.org/10.17576/jkukm-2023-35\(3\)-11](https://doi.org/10.17576/jkukm-2023-35(3)-11)
- Sandbach, S. D., Nicholas, A. P., Ashworth, P. J., Best, J. L., Keevil, C. E., Parsons, D. R., Prokocki, E. W., & Simpson, C. J. (2018). Hydrodynamic modelling of tidal-fluvial flows in a large river estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 212(November 2017), 176–188. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.06.023>
- Singh, R. (2024). An Analysis Of The Mathematical Modelling To Understand And Analyze Complex Systems : Fundamentals Concept. *International Journal of Research in Science and Technology*, 14(14), 50–64. <https://doi.org/10.37648/ijrst.v14i02.006>
- Warren, I. R., & Bach, H. K. (1992). MIKE 21: a modelling system for estuaries, coastal waters and seas. *Environmental Software*, 7(4), 229–240. [https://doi.org/10.1016/0266-9838\(92\)90006-P](https://doi.org/10.1016/0266-9838(92)90006-P)
- Zhang, M., Yang, H., Tang, Q., Cai, H., Zhu, Z., Feng, A., Luo, M., Gao, H., & Tian, X. (2020). Impacts of secondary and quarter-diurnal tidal species on backwater hydrodynamics in tidal rivers. *Advances in Water Resources*, 143, 103660. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103660>